Pedobiologia, Bd. 5, S. 211—227 (1965)

Aus dem Institut für Bodenkunde Eberswalde
der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin
(Direktor: Prof. Dr. E. EHWALD)

Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Lebenstätigkeit von Mikroorganismen und Bodentieren auf den Abbau von Zellulose (I)

Von EKKEHARD VON TÖRNE

Mit 2 Abbildungen im Text

Synopsis

Wissenschaftliche Originalmitteilung
Original scientific paper

Am Beispiel von orientierenden Laboratoriumsuntersuchungen mit Bodenproben wird ein neues Rotte-Testverfahren beschrieben. Als Testsubstanz wurde Zellulose in Form von Filterkarton-Schildchen verwendet. Die hydrothermalen Bedingungen waren annähernd gleich. Die substanziellen und mikrobiellen Bedingungen entsprachen entweder natürlichen oder experimentellen Voraussetzungen. Als Versuchstiere dienten Collembolen der Art *Folsomia candida* (WILLEM). Die Experimente dauerten je nach der Rotteintensität 22 bis 110 Tage. Der Rotteschwund wurde (nach Veraschung der organischen Restsubstanz) gravimetrisch ermittelt. Die vorgelegten Befunde lassen sowohl substanzielle als auch mikrobielle Einflüsse auf die Rotteintensität erkennen. Für eine eingehende Kausalanalyse waren die notwendigen Voraussetzungen noch nicht gegeben.

Das Verfahren eignet sich für vergleichende Untersuchungen metabolischer Prozesse und für das Studium von Wechselbeziehungen zwischen Bodentieren und Mikroorganismen.

As an example of preliminary laboratory studies with soil samples a new decomposition test method is described. Cellulose, in the form of filter paper cards, is used as a test substance. Approximately uniform temperature and humidity conditions were maintained. The nutrient and microbial conditions were adequate either to natural or to experimental conditions. Collembola of the species *Folsomia candida* (WILLEM) served as test animals. The experiments, according to the extent of breakdown, take from 22 to 110 days. The progress of decomposition is determind gravimetrically by ashing of the organic remains. The results obtained provide information about both nutrient and microbial influences on rate of decomposition. The experimental conditions were not yet suitable for a complete causal analysis.

The procedure is suitable for comparative studies of metabolic processes and for the study of interrelations between soil animals and microorganisms.

Inhalt

0. Einleitung

Der Stoff- und Energiehaushalt des Bodens ist ein bestimmendes Element der Bodenfruchtbarkeit. Die mit dem biogenen Stoff- und Energiekreislauf verbundenen Prozesse beeinflussen das Ökosystem „Boden" in sehr mannigfaltiger Weise und stets in ihrer unterschiedlichen Gesamtheit. Bisher sind die komplizierten Wechselbeziehungen zwischen biotischen und abiotischen Prozessen im Boden noch verhältnismäßig wenig erforscht. In den letzten Jahrzehnten mehren sich daher produktionsbiologische Untersuchungen und ökologische Experimente, die über die biogene Transformation von organischen Stoffen im Boden Aufschluß bieten können.

Wertvolle Anregungen bot in dieser Hinsicht die Mitteilung von RICHARD (1945) über den biologischen [biogenen] Abbau von Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften. Ihr folgten inzwischen an verschiedener Stelle eine Reihe von gleichen oder ähnlichen Untersuchungen mit dem Ziel, ein quantitatives Maß für die „biologische Bodenaktivität" oder die „zellulolytische Aktivität" zu finden. Derartige funktionelle Prüfungen bieten gegenüber bloßen phänomenologischen Analysen den Vorteil experimenteller Arbeit. Der Rotteschwund ist jedoch nur ein vordergründiges Phänomen des Stoff- und Energiekreislaufes im Boden. Deshalb ist es auch im Einzelfall noch immer schwierig, die Wirkungsweise humuswirtschaftlicher Maßnahmen auf den Pflanzenertrag richtig und umfassend zu deuten (substanzielle oder biotische Wirkungen?). Aus ökologischer Sicht erscheint es somit gleichermaßen notwendig, die Lebensprozesse als eine Ursache des Metabolismus und den Metabolismus als ein Fundament der Lebensprozesse zu studieren.

Freilandexperimente bedürfen aber einer Ergänzung durch reproduzierbare biocönologische Kausalanalysen, um die komplizierten Bildungsgesetze von metabolischen Prozessen (zu denen auch die Lebensvorgänge in ihrer Gesamtheit gehören) zu entdecken. Wir haben deshalb damit begonnen, ein Verfahren für vergleichende Laboratoriumsuntersuchungen zu entwickeln. Dieses Verfahren ist äußerst einfach und — wie unsere bisherigen Erfahrungen vermuten lassen — vielseitig anwendbar. Den Tieren war bei diesem Verfahren anfangs hauptsächlich die Funktion zugedacht, durch ihre Fraßtätigkeit den jeweiligen Stand der mikrobiellen Verdauung der Zellulose anzuzeigen. Die schon bei den Voruntersuchungen zutage getretenen Wechselwirkungen ließen jedoch erkennen, daß mit unserem Verfahren zugleich auch ein sehr einfacher Zugang zum Studium ökologisch interessanter Modelle des biogenen Metabolismus eröffnet wurde. Da es sich hierbei um naturwissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen handelt, waren für die Wahl unserer Mittel vor allem methodische Gesichtspunkte entscheidend, das gilt insbesondere für die Verwendung von Collembolen als Testorganismen. Wir sind inzwischen aber schon dazu übergegangen, auch Arten aus anderen Tiergruppen für unsere Experimente zu verwenden und wir werden dies um so mehr tun, je mehr es uns gelingt, geeignete Tiermaterialien für unseren experimentellen Zweck heranzuziehen.

Eine Beschreibung unserer Methode des Rottetests gebe ich in Verbindung mit der Darstellung von Befunden unserer ersten orientierenden Untersuchungen. Diese Befunde sind zwar interessant, aber noch wenig aufschlußreich; sie erscheinen mir aber gerade deswegen geeignet, die Notwendigkeit umfassender Grundlagenuntersuchungen — also die Zusammenhänge zwischen Weg und Ziel unserer weiteren Untersuchungen — in

einem weitgesteckten Rahmen zu motivieren. Anhand dieser Beispiele wird auch klar ersichtlich, daß eine Rückkehr zu dem Ausgangspunkt unserer Untersuchungen erst dann sinnvoll ist, wenn die Überprüfung präziser Arbeitshypothesen auf der Grundlage eingehender Kenntnisse der bestimmenden Vorgänge möglich wird.

Unsere künftigen Untersuchungen werden daher zunächst auf folgende Schwerpunkte gerichtet sein: 1. Zeitlicher Verlauf des Zelluloseabbaues unter verschiedenen abiotischen und biotischen Bedingungen; 2. Wechselbeziehungen zwischen direkt und indirekt am Zelluloseabbau beteiligten Organismen; 3. Spezielle ernährungsbiologische und produktionsbiologische Probleme im Zusammenhang mit dem Zellulosemetabolismus.

1. Problemstellung

Bei den hier erwähnten Experimenten ging es zunächst nur um die quantitative Erfassung des bloßen Rotteschwundes, um einen geeigneten Ausgangspunkt für spezielle biologische Untersuchungen zu schaffen. Zunächst ist die Frage nach der Abhängigkeit der Rotteintensität unter dem Einfluß verschiedener Substrate und verschiedenen mikrobiellen und tierischen Einflüssen gestellt worden. Ein einfacher Maßstab für die Intensität des Rottevorganges ist der Substanzschwund in der Zeit, abhängig von der Qualität und Quantität des geprüften Stoffes (hier der Zellulose) und den verschiedenen direkten und indirekten Einflüssen auf die tätigen Organismen und den Wechselbeziehungen zwischen diesen. Die Abhängigkeit von der Menge der Substanz aber bedeutet ständige Veränderung der Relationen mit Fortschreiten des Prozesses. Der Vergleich mit einem theoretisch gleichmäßig ablaufenden Prozeß wurde aber im Zusammenhang mit den hier erwähnten Experimenten noch nicht versucht. Deshalb wird der Rotteschwund hier vorläufig nur als Gewichtsdifferenz gegenüber einer gegebenen Ausgangsmenge, also bilanzierend und nicht dynamisch erfaßt.

2. Methode

2.0. Vorbemerkungen

Die nachfolgend beschriebene Arbeitsweise haben wir erst im Laufe der Zeit entwickelt, daher sind die Befunde unserer orientierenden Untersuchungen noch unter mehr oder minder unterschiedlichen Bedingungen zustande gekommen. Auf Einzelheiten der Entwicklung dieser Methode lohnt es jedoch nicht näher einzugehen, zumal die komplexen Bedingungen unserer Anfangsversuche weder eine exakte Reproduktion der Befunde noch eine zuverlässige Faktorenanalyse gestatten. Es sei deshalb nur beispielsweise erwähnt, daß wir bei dem Versuch Z 9/13 das Substrat noch mit ringförmig zusammengelegten Filterpapierstreifen umhüllt haben und daß die Filterkarton-Schildchen anfangs noch etwa um die Hälfte schwächer waren (160 g/m^2) als die jetzt von uns verwendeten Schildchen. Die Differenzen beim Rotteschwund sind hier also vor allem innerhalb der unter gleichen Bedingungen angesetzten Versuchsreihen von Bedeutung. Eine ebenfalls noch ungünstige Voraussetzung für die vergleichende Auswertung der verschiedenen Versuchsreihen ergibt sich aus dem Umstand, daß es auch bei gleichzeitiger Untersuchung von unterschiedlichen Bodenproben anfangs nicht möglich war, geeignete Maßstäbe für den verschiedenen zeitlichen Verlauf der Rotte anzuwenden. Wie wir nunmehr wissen, können wir auch unter gleichen Versuchsbedingungen in der Regel keine gleichmäßige Progression des Rotteschwundes erwarten. Erst nach genauer Kenntnis jener naturgesetzlichen Bedingungen, die den zeitlichen Verlauf der Rotte bestimmen, wird es also möglich sein, den quantitativen Aspekt der metabolischen Phänomene richtig einzuschätzen. Für den Zweck dieser Darstellung mag es daher genügen, das bei den hier erwähnten Versuchen angewandte Verfahren im wesentlichen zu kennzeichnen; die ausführliche Beschreibung unserer jetzigen Arbeitsweise wird dagegen als Grundlage für die künftigen Mitteilungen unentbehrlich sein.

2.1. Versuchsanlage

Die Versuchsanlage ist im wesentlichen aus der Abbildung 1 zu sehen. Das im Versuchsgefäß senkrecht stehende Schildchen aus Filterkarton grenzt einen schmalen Luftraum zwischen der gewölbten Glaswand des Becherglases und dem Substrat ab. Dieser freie Raum bildet eine feuchte Kammer, die sowohl den Mikroorganismen als auch den Bodentieren günstige Lebensbedingungen bietet.

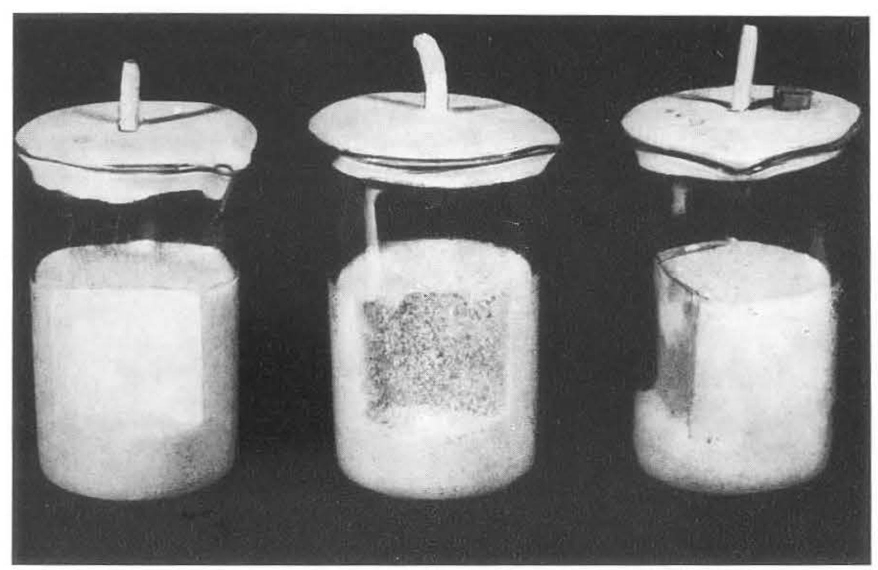


Abb. 1. Prüfgefäße mit Zelluloseschildchen von vorn bzw. von der Seite. Links, Schildchen steril und unversehrt, Mitte und rechts, Schildchen unter Tiereinfluß gerottet.

Das Substrat (Bodenproben oder Quarzsand) wird von unten her, aus der dauernd fast wassergesättigten Grundschicht (einer etwa 1 cm hohen Sandschicht auf den Glasgrund), seinem Saugvermögen entsprechend, bis zu einem annähernd konstanten Feuchtigkeitsgehalt mit Wasser versorgt. Unter diesen Umständen wird das Schildchen soweit es dem Substrat anliegt und nicht übersteht, annähernd gleichmäßig befeuchtet, auch dann, wenn es infolge der Rotte schon teilweise aufgezehrt worden ist. Substratunterschiede scheinen den Wassergehalt des Schildchens nicht wesentlich zu beeinflussen. Wir haben diese Bedingung allerdings nur für Material mit einer Teilchengröße $\leqq 2$ mm überprüft. Für den Zweck der Flüssigkeitszufuhr, wird mit Hilfe eines längsgestellten Objektträgers (gleich wie mit dem Schildchen) auf der Rückseite des Becherglases ein schmaler Bewässerungsspalt zwischen Glaswand und Substrat freigehalten.

Die biotischen Faktoren der Rotte entsprachen bei den hier erwähnten Versuchen entweder natürlichen Bedingungen des Substrates oder experimentell gesetzten Maßnahmen. Ähnliches gilt für die Versorgung mit mineralischen Nährstoffen. Wegen der unterschiedlichen Weite der Versuchsgefäße ist die Substratmenge bei gleicher Schichthöhe allerdings verschieden (bei den von uns verwendeten Bechergläsern zwischen 75 und 100 Vol.-%) und in Abhängigkeit davon (sowie auch von der Wasseraufnahme des Substrates) schwankt unvermeidlich auch der Nährstoffvorrat oder die Nährstoffkonzentration in der flüssigen Phase. Derartige Differenzen erlangen wahrscheinlich nur bei extremem Nährstoffmangel eine erhebliche Bedeutung. Entsprechendes gilt für die herstellungstechnisch bedingten Gewichtsdifferenzen flächengleicher Filterkartonschildchen. So z. B. können die Trockengewichte der Schildchen bei Verwendung stärkerer Materialien erheblich voneinander abweichen (bei den von uns verwendeten Schildchen mit einer Flächengröße von 30×30 mm schwanken die Gewichte zwischen 220 und 310 mg). Wenngleich man durch eine Sortierung nach Gewichtsklassen die Differenzen innerhalb eines Versuches gering halten kann, so läßt es sich aus Gründen der Wirtschaftlichkeit doch schwerlich vermeiden, bei umfangreicheren Versuchsreihen mit größeren Sortimenten zu arbeiten. Im Interesse der Möglichkeit einer gravimetrischen Bestimmung des Rotteschwundes wird man diese Mängel jedoch in Kauf nehmen, die bei der Verwendung schwächerer Papiersorten schließlich noch mehr ins Gewicht fallen würden, weil die möglichen Rotteverluste im Vergleich zu den unvermeidlichen Meßfehlern zu gering wären.[1])

Gegen die Verwendung starker Folien könnte vielleicht eingewandt werden, daß die gegebene Zellulosemenge mit naturgegebenen Verhältnissen nicht übereinstimmt. Wir geben in unseren

1) Wir hatten auch die Möglichkeit einer planimetrischen Bestimmung des Rotteschwundes in Betracht gezogen, da die mikrobielle Aufzehrung der Zellulose durch den Lochfraß der Tiere deutlich angezeigt wird. Es ist uns jedoch nicht gelungen, eine für die Verwendung dünner Folien geeigneten, gleich vorteilhafte Versuchsanordnung zu schaffen.

Versuchen bis zu 3600 ppm Zellulose, also annähernd die zehnfache Menge dessen, was bei einer hohen Strohdüngung von 100 dt/ha auf eine Krumenschicht von 20 cm Tiefe entfallen würden. Da jedoch weder der natürliche Bestandsabfall noch die bei der Düngung eingebrachte organische Substanz gleichmäßig auf die tätige Bodenmasse verteilt sind, wird man auch unter Freilandbedingungen mit so extremen Verhältnissen rechnen müssen.

Im Hinblick auf die Anwendung des hier beschriebenen Untersuchungsverfahrens verdienen die in diesem Abschnitt dargelegten Gesichtspunkte je nach der beabsichtigten Fragestellung eine besondere Beachtung.

2.2. Material und Materialeinbringung

Als Versuchsgefäße benutzten wir Bechergläser (hohe Form, 100 *ml* Vol.). Die Gläser wurden mit Gipsdeckeln oder mit Zellstoff abgedeckt. Für die Arbeit unter sterilen Kautelen hat sich der Zellstoffverschluß als vorteilhafter erwiesen.

Die zur Freihaltung des Bewässerungsspaltes verwendeten Objektträger haben ein Format von 28 × 47 mm. Für die Herstellung der Schildchen verwenden wir Filterkarton[2]) mit einem Flächengewicht von 300 g/m². Der von uns verwendete Quarzsand besteht zu etwa 4 Teilen aus Mittelsand (Siebfraktion von 0,6 bis 0,2 mm) und zu etwa einem Teil aus Feinsand (0,2 bis 0,06 mm). Nährlösungen haben wir mit Leitungswasser angesetzt, Verdunstungsverluste wurden mit Aqua dest. ausgeglichen. Die von uns verwendete Nährlösung für Sporozytophaga-Kulturen wurde nach dem Rezept von BORTELS (1956, S. 236) hergestellt. Die Nährlösungsmenge haben wir anfangs entsprechend einem C : N-Verhältnis von 30 : 1 für den Anteil an Zellulosekohlenstoff berechnet. Die noch fehlende Flüssigkeitsmenge wurde mit Aqua dest. ausgeglichen. Da die Substratmenge in den einzelnen Gläsern jedoch verschieden ist (vgl. Abschn. 2.1.), wird hierbei die zugeführte Nährlösung in unterschiedlichem Maße verdünnt. Wir sind deshalb in letzter Zeit dazu übergegangen, das Substrat vollständig mit einer Nährlösung bestimmter Konzentration zu befeuchten. Wir haben dann zwar verschiedene Nährstoffmengen in den einzelnen Versuchsgefäßen, aber in gleichem Substrat gleiche Mengen in gleichen Raumeinheiten. Die Unterschiede in der absoluten Nährstoffmenge werden sich nur bei Mangelzuständen bemerkbar machen (diese Versuchsbedingungen werden derzeit von uns eingehend überprüft).

Wo es notwendig war, unter sterilen Kautelen Flüssigkeit nachzufüllen, haben wir mit einer sterilen Kanüle die Zellstoffdecke durchstoßen und die Flüssigkeit ohne Abdeckung der Versuchsgefäße einlaufen lassen. Größere Manipulationen, die es notwendig machten, die Gefäße abzudecken, haben wir in einem Impfraum durchgeführt.

2.3. Mikroben- bzw. Tierbesatz und Pflegemaßnahmen

Für die hier erwähnten Versuche haben wir nur Tiere der Collembolenart *Folsomia candida* (WILLEM, 1902) und eine Rohkultur von *Sporozytophaga myxococcoides* (KRZEMIENNIEWSKA, 1933) experimentell verwendet. Die Begleitorganismen in der Rohkultur von *Sp. myxococcoides* haben wir nicht determiniert.

Die Tiere wurden je nach Versuchsanordnung mit Hilfe eines Exhaustors eingezählt (TÖRNE, 1965) oder vermittels eines Trichters volumetrisch eingemessen. Wir haben unser Maß auf ein durchschnittliches Gewicht von etwa 10 mg Tiermaterial eingestellt.

Die Mikroben wurden mit Hilfe einer spiralig aufgewundenen Impföse oder vermittels einer Pipette übertragen. Für die Impföse ist ein stabiler Draht vonnöten, weil es sonst schwerfällt, die ganze Fläche des Schildchens gleichmäßig zu bestreichen.

Die Versuche wurden in einem thermostatisch regulierten Raum bei einer Temperatur von 19 °C (± 1 °C) gehalten. Die Substratproben in den Versuchsgefäßen wurden regelmäßig bis zur Sättigung der Grundschicht mit Aqua dest. befeuchtet.

2.4. Versuchsauswertung

Nach einer bestimmten Versuchsdauer oder zu einem Zeitpunkt, da schon ein großer Teil der Zellulose offensichtlich abgebaut war, wurden die Versuche abgebrochen. Zunächst wurden die Tiere von der Substratoberfläche und der Glaswand abgeblasen und dann wurde der Zelluloserest säuberlich vom Substrat abgelöst und in Tiegel gefüllt. Dabei haben wir die losen Umsetzungsprodukte von der noch im Verband gebliebenen Zellulose nicht getrennt. Auch anhaftende mineralische Substanz haben wir schließlich nicht mehr entfernt, weil wir den Aschegehalt der Zellulose (der nur 0,5 bis 1,5% des Trockengewichts beträgt) unberücksichtigt lassen können.

Die noch feuchten Zellulosereste haben wir jeweils 4 Std. lang bei 105 °C getrocknet und dann verascht. Den Gewichtsverlust nach der Verbrennung haben wir mit dem Trockengewicht der

2) C-Karton von der Fa. Carl A. Bodenstein & Co., Kupferhammer, 671 Neustadt (Orla).

reinen noch nicht abgebauten organischen Substanz gleichgesetzt. Für die Zielsetzung der hier erwähnten Untersuchungen genügte diese Verfahrensweise.

Bei dieser Gelegenheit sei noch erwähnt, daß es ratsam ist, die noch feuchten Zellulosereste in jenen Gefäßen zu trocknen, in denen sie auch verascht werden, weil sonst Substanzverluste entstehen. Es empfiehlt sich ferner, die noch feuchten Zellulosereste fest auf den Tiegelgrund zu drücken, damit die an der Zellulose haftenden mineralischen Partikel beim Verbrennen nicht aus den Tiegeln herausgeschleudert werden. Es ist überhaupt angezeigt, beim Veraschen Vorsicht walten zu lassen, um Substanzverluste durch eine explosionsartige Verbrennung zu vermeiden. Man sollte deshalb die Tiegel nicht in den schon oder noch glühenden Kammerofen stellen.

Die Versuche wurden in der Regel mit 5- bis 8facher Wiederholung angesetzt. Wir haben für jede Reihe von Parallelbefunden den Mittelwert ($\bar{x}$) und den Variabilitätskoeffizienten $v = s \cdot 100/\bar{x}$ errechnet und in allen jenen Fällen, wo uns die Prüfung von Differenzen sinnvoll schien, den U-Test nach Mann und Withney (s. E. Weber, 1961) durchgeführt. Ergebnisse von U-Tests sind in den Tabellen 5 bis 11 wiedergegeben. Wir haben in diesen Darstellungen alle jene Mittelwerte durch Linien miteinander verbunden, zwischen denen auf Grund des Vergleiches der betreffenden Wertreihen keine signifikanten Differenzen bestehen. Da es uns bei der Wiedergabe der Mittelwerte auf eine sachlich bestimmte und daher von ihrer Größenordnung teilweise abweichende Reihenfolge ankam, haben wir in einigen Fällen die Verbindungslinien unter indifferenten Mittelwerten durch Klammern überbrückt. Für den einseitigen Vergleich der Ereignisreihen haben wir einen Wert von $\alpha = 0{,}05$ vorgegeben; ein erheblicher Teil der hier nachgewiesenen Differenzen genügt jedoch hinsichtlich der Irrtumswahrscheinlichkeit auch höheren Anforderungen.

2.5. Bodenprobenentnahme und Bodenmaterialien

2.5.0. *Allgemeines*

Die Bodenproben für die hier genannten Versuche haben wir in der Gemarkung Lichterfelde (Krs. Eberswalde, Bez. Frankfurt/Oder) großteils im Frühjahr und z. T. noch im Frühsommer 1964 entnommen. Die Proben aus den Revieren Grüntal, Melchow und Schönholz (alle in der Umgebung von Eberswalde) wurden erst im August 1964 eingeholt.

Bei der Probenentnahme sind keine besonderen mikrobiologischen Vorsichtsmaßregeln eingehalten worden, weil es zunächst nur beabsichtigt war, bestimmende Substrateinflüsse und nicht Elemente der autochthonen Mikroflora zu erfassen. Die Proben wurden in verschlossenen Bechergläsern transportiert und teils in naturfrischem Zustand, teils nach lufttrockener Aufbewahrung für unsere Versuche verwendet. Mikrobiologische Deutungen der nachfolgend dargestellten Befunde sind also nur mit Einschränkung möglich, wenn man auch annehmen darf, daß bestimmende Einflüsse vom Substrat und den sonst im Versuch gegebenen Lebensbedingungen ausgehen. Bei Verwendung von lufttrockenen Materialien haben wir die gröberen Bestandteile (über 2 mm ∅) vorher abgesiebt, um lagerungsbedingte Unterschiede in der Wasserführung möglichst zu vermeiden. Unsere Versuche mit Frischboden unterscheiden sich von jenen mit anfänglich lufttrockenem Boden also auch hinsichtlich der Feuchtigkeitsbedingungen. Über die unterschiedliche Wasseraufnahme von verschiedenen lufttrockenen Bodenproben (unter unseren Versuchsbedingungen) gibt Tabelle 1 Auskunft. Allgemein sei an dieser Stelle bemerkt, daß

Tabelle 1 Trockengewichte und Wassergehalt (Mittelwerte in g) von verschiedenen Bodenmaterialien aus der Gemarkung Lichterfelde (vgl. Tabelle 2 und 3)

Profil-Nr.	Trockengewicht		Wassergehalt			
			abs.		rel.	
	o.	u.	o.	u.	o.	u.
9	30,4	38,3	10,7	15,7	35,2	41,0
15	46,0	50,2	10,6	10,8	23,0	21,5
97	51,4	56,8	16,8	13,2	32,7	23,2
182	46,7	43,8	16,0	15,1	34,2	34,5
253	40,5	—	17,9	—	44,2	—

Anm.: Die Angaben beziehen sich auf die in unseren Versuchen gegebenen Verhältnisse. Für die sandige Grundschicht und die darüberliegende Erdschicht wurden die Gewichte getrennt ermittelt. Der relative Wassergehalt wird in % Trockensubstanz angegeben. — Oberboden (o), Unterboden (u).

Das durchschnittliche Trockengewicht der sandigen Grundschicht betrug 31,2 g, ihr mittlerer Wassergehalt 7,6 g, d. h. 24,5% Substanzgewicht.

unter unseren Versuchsbedingungen humose Materialien nur langsam Wasser aufnehmen und daß sie teilweise während der ganzen Versuchsdauer unvollständig durchfeuchtet blieben (obere Schicht blieb relativ trocken).

2.5.1. *Bodenproben aus der Gemarkung Lichterfelde*

Es wurden Proben von 5 verschiedenen Bodenformen in unmittelbarer Nähe von bodenkundlich eingehend untersuchten Profilen entnommen. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse einer vom Institut für Bodenkunde Eberswalde durchgeführten Probekartierung in diesem Raum wurde in einem unveröffentlichten Erläuterungsband zusammengefaßt (s. Abschn. 5). Zur Kennzeichnung unserer Untersuchungsmaterialien werden hier aus dem Erläuterungsband zur Bodenkarte Lichterfelde auszugsweise einige Bemerkungen über die verschiedenen Bodenformen und die interessierenden Analysendaten (Tabelle 3) wiedergegeben.

Tabelle 2 Bezeichnung der Profile in der Gemarkung Lichterfelde bei Eberswalde, aus deren obersten Horizonten Materialien für die Zellulose-Abbauversuche verwendet wurden

Profil-Nr.	Untersuchte Horizonte	Entnahmetiefe in cm	Bodenform und Ausgangsmaterial
9	Ap	0—20	*Flachlehm-Fahlerde*
—	Ae	24—30	Material: Geschiebemergel
15	Ap	1—18	*Sand-Fahlerde*
—	Bsv	24—40	Material: Fein- bis Mittelsand über Grobsand
97	Ap	1—30	*Sand-Ros erde*
—	Bsv	35—45	Material: Feinsand
182	Ap_1	1—20	*Tieflehm-Pseudogley* (kolluvial beeinflußt)
—	Ap_2	22—30	Material: Decksand über Geschiebelehm
253	(Ap)	10—25	*Sand-Gley*
—	Go	28—36	Material: Talsand

Einen Überblick über die von uns untersuchten Materialien gibt Tabelle 2. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß wir jeweils nur Proben aus einem oberflächennahen und einem darunterliegenden Horizont untersucht haben, die wir im weiteren einfach „Ober-" und „Unterbodenproben" nennen, obgleich diese Bezeichnungsweise nach dem bodenkundlichen Sprachgebrauch hier z. T. nicht gerechtfertigt ist. Die von uns untersuchten Bodenformen wurden in dem erwähnten Erläuterungsband wie folgt charakterisiert:

„*Flachlehm-Fahlerde.* — Über Lehm oder sandigem Lehm liegt eine Schicht von weniger als 4 dm anlehmiger bis lehmiger Feinsand. Auf Grund des höher anstehenden Lehmhorizontes haben diese Böden eine relativ hohe Wasserkapazität und ein gutes Wassernachlieferungsvermögen. Die Flachlehm-Fahlerden sind meistens schwach steinig. Sie haben ein gutes Nährstoffnachlieferungsvermögen" (s. Profil Nr. 9).

„Die *Sand-Fahlerden* sind gekennzeichnet durch einen fein- bis mittelsandhaltigen Oberboden. Im sandigen Unterboden haben sie einen schwach lehmigen Anreicherungshorizont (*Bt*). Dieser entsteht durch Tonverlagerung aus dem Oberboden. Unter der Ackerkrume sind die Sand-Fahlerden schwach rostfarbig. Infolge des geringen Ton- und Humusgehaltes des Oberbodens ist dieser stark durchlässig und hat nur eine geringe Wasserkapazität. Die Wasserspeicherung im Unterboden ist durch den lehmigen Anreicherungshorizont etwas besser. Diese Böden haben mit Ausnahme des Anreicherungshorizontes ein Einzelkorngefüge. Das Nährstoffnachlieferungsvermögen der Sand-Fahlerde ist abgesehen vom lehmigen Anreicherungshorizont gering" (s. Profil Nr. 15).

„Die *Sand-Rosterden* sind auf einer mehr als 8 dm mächtigen Schicht von kalkfreiem Fein- und Mittelsand entwickelt. Unter der Ackerkrume sind diese Böden schwach rostfarbig. Die Sand-Rosterden haben Einzelkorngefüge. Auf Grund ihres geringen Anteiles an Ton und Humus sind sie stark durchlässig und besitzen eine geringe Wasserkapazität. Das Nährstoffnachlieferungsvermögen dieser Böden ist ebenfalls gering" (s. Profil Nr. 97).

„*Tieflehm-Pseudogley.* — Unter 4—8 dm lehmigem Feinsand steht Lehm an. Der Lehm und manchmal der untere Teil der Feinsandschicht zeigen Rostfleckung durch zeitweiligen Wasserstau. Da der Staukörper nicht zu hoch liegt, ist der Wasserhaushalt dieser Böden als günstig anzusehen. Die Tieflehm-Pseudogleye sind meistens schwach steinig. Die Lehmschicht hat ein gutes Nährstoffnachlieferungsvermögen" (s. Profil Nr. 182).

„*Talsand-Gley.* — In einer Schicht von mehr als 12 dm Feinsand hat sich der Talsand-Gley entwickelt. Der Oberboden ist stark humos. Unter dem Humushorizont ist der Boden rostfarbig. Der Boden ist grundwasserbeeinflußt" (s. Profil Nr. 253).

Die Analysendaten für die von uns untersuchten Horizonte sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben (Tabelle 3).

Tabelle 3 Analysenwerte zu den Profilen in der Gemarkung Lichterfelde (vgl. Tabelle 2)

Körnung

Profil-Nr.	Hori-zont	Entn.-Tiefe cm	Poren-volumen %	Ton	Schluff	Feinsand FSII	Feinsand FSI	Mittel-sand	Grob-sand	Kör-nungs-art	Kies % v. Ges.-Boden
9	Ap	0—20	47	10,1	23,6	17,3	22,7	21,0	5,3	lFS	1,7
—	Ae	24—30	39	9,0	22,6	13,6	27,2	21,6	6,0	lFS	2,0
15	Ap	1—18	42	3,4	6,3	7,2	28,2	42,6	12,3	alFMS	2,5
—	Bsv	24—40	43	2,8	5,0	6,1	33,3	42,0	10,8	FMS	2,1
97	Ap	1—30	43	1,3	5,4	11,7	42,7	32,9	6,0	FS	0,4
—	Bsv	35—45	38	2,2	10,3	13,7	37,7	33,9	2,2	FS	0,2
182	Ap1	1—20	43	13,0	32,5	15,1	21,3	15,0	3,1	fsL	1,0
—	Ap2	22—32	40	13,8	33,4	14,9	21,1	13,5	3,3	fsL	0,7
253	(Ap)	10—25	40	3,0	6,2	10,6	37,3	39,8	3,1	FMS	0,2
—	Go	28—36	35	4,9	4,2	10,6	36,3	41,4	2,6	alFMS	0,6

Tabelle 3 (Fortsetzung 1)

Profil-Nr.	Hori-zont	pH (KCl)	Humus %	C/N %	T mval	Sätti-gung V %	austauschb. Kationen i. % v.-S. Ca	Mg	K	Na
9	Ap	5,1	1,90	13,3	5,9	61	69,6	10,3	17,1	3,0
—	Ae	4,0	0,59	—	3,8	57	62,8	27,4	5,1	4,7
15	Ap	4,6	1,14	13,7	3,8	10	11,2	11,2	50,0	27,6
—	Bsv	4,4	0,27	—	1,3	11	14,3	14,3	53,6	17,8
97	Ap	4,0	0,82	11,0	2,37	34	58,0	21,0	18,5	2,5
—	Bsv	4,4	0,37	9,6	2,98	22	59,8	19,4	17,9	2,9
182	Ap1	6,9	2,04	10,2	13,17	72	74,3	19,7	4,9	1,1
—	Ap2	n. b.	1,60	9,5	12,78	72	88,6	7,4	2,8	1,2
253	(Ap)	6,7	2,12	12,3	7,7	86	84,8	12,0	1,2	2,0
—	Go	6,3	0,24	—	4,6	96	83,9	11,4	1,8	2,9

2.5.2. *Bodenproben aus den Revieren Grüntal, Melchow und Schönholz*

In dem vom Institut für Forsteinrichtung und Standortserkundung, Zweigstelle Eberswalde, kartierten Waldgebiet wurden von 3 standortlich verschiedenen geprägten Profilen der gleichen Bodenform (Schönholzer Tieflehm-Sand-Braunpodsol) Proben aus verschiedenen Horizonten bzw. Schichten entnommen. Meine Mitteilungen beziehen sich auf Angaben von D. Kopp (im Druck).

Die Bodenbildung hat sich auf einem zweischichtigen pleistozänen Ausgangsmaterial vollzogen (Geschiebelehm der Grundmoräne des Frankfurter Stadiums mit sekundärer Flugsanddecke). Die Profile liegen in der flachen Grundmoräne nur 2 bis 3 km voneinander entfernt. Wie die Analysendaten (Tabelle 4) zeigen, sind die wesentlichen Bodenunterschiede durch den verschiedenen Humuszustand bedingt. Die drei Standortsformen unterscheiden sich also durch die Zustandsstufen (vom naturnahen bis zum mehr oder minder stark degradierten Zustand), die in der Vegetation und der Humusform ihren Ausdruck finden. Die stabilen Eigenschaften (Klima und Eigenschaften des Materials der tieferen, humusarmen Horizonte) sind dagegen annähernd gleich.

Tabelle 3 (Fortsetzung 2)

Profil-Nr.	Horizont	Gesamtgehalt K	Ca	Mg	P	Fe	freie Oxide SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	k-lösl. Oxide Al_2O_3	Fe_2O_3	Kalium austauschbar	nachlieferbar
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mg	mg
9	Ap	1,53	0,30	0,28	0,039	1,23	1,04	0,20	0,78	0,06	0,10	46	195
—	As	1,60	0,26	0,27	0,017	1,01	1,04	0,20	0,62	0,09	0,16	6	134
15	Ap	1,09	0,27	0,13	0,046	0,75	0,78	0,18	0,40	0,12	0,00	10	49
—	Bsv	1,08	0,25	0,12	0,025	0,71	0,73	0,23	0,37	0,15	0,21	10	55
97	Ap	0,96	0,14	0,008	0,020	0,50	0,92	0,33	0,24	0,10	0,18	8	53
—	Bsv	0,96	0,14	0,008	0,018	0,53	0,75	0,60	0,30	0,20	0,18	7	29
182	Ap1	1,89	0,53	0,06	0,042	1,49	1,13	0,48	0,62	0,07	0,09	26	218
—	Ap2	1,71	0,44	0,04	0,034	1,47	1,15	0,45	0,64	0,10	0,14	15	204
253	(Ap)	0,82	0,33	0,18	0,022	0,60	0,56	0,25	0,23	0,11	0,06	3	24
—	Go	0,82	0,23	0,07	0,010	0,90	0,78	0,48	0,49	0,06	0,03	3	53

Im Gegensatz zu den Materialien aus der Gemarkung Lichterfelde wurden die Bodenproben hier von der Profilwand aus entnommen. Zur Zeit der Probenentnahme standen die Profile schon über längere Zeit offen (Grüntal 2, Melchow 4, Schönholz 3 Jahre). Wir haben deshalb vor der Probenentnahme erst eine Schicht von 10 bis 15 cm Stärke von der Wand abgestochen.

3. Versuche und Befunde

3.1. Versuche mit Materialien aus landwirtschaftlich genutzten Böden

3.1.1. *Versuche ZL* **9/13** *und Z* **6/10**

Versuchsanlage: Insgesamt 2×2×5 = 20 Varianten (frischer [ZL 9/13] und lufttrockener Boden [Z 6/10,] Oberboden und Unterboden, Proben aus 5 verschiedenen Bodenformen [s. Tabelle 2]), 8 Parallelversuche, also insgesamt 160 Einzelversuche.

Bei den Versuchen, die mit lufttrockenem Material angesetzt wurden (Z 6/10), sind die Schildchen mit einer Rohkultur von *Sporozytophaga myxococcoides* beimpft worden. Nährstoffzusatz erfolgte nicht. Die Versuchsgefäße aller Varianten wurden zu Versuchsbeginn mit je 10 mg *Folsomia candida* besetzt. Die Versuchsdauer schwankte je nach dem erkennbaren Rotteschwund zwischen 22 und 110 Tagen. Für alle Versuche wurde der Rotteschwund in mg ermittelt. Statistische Prüfungen von Differenzen erfolgten nur bei Versuchen gleicher Dauer, in allen anderen Fällen wurde der annähernd gleiche Rotteschwund in verschiedener Versuchszeit als ausreichende Motivierung von Differenzen angesehen.

Befunde: Nach dem Grad der Rottegeschwindigkeit ergab sich für den Einfluß der in den Versuchen verwendeten Bodenproben folgende Reihenfolge (vom geringen → zum größeren Rotteschwund)

a) Oberbodenproben

ZL 9/13 Sand-Gley → Sand-Rosterde → Flachlehm-Fahlerde → Sand-Fahlerde
Z 6/10 Sand-Gley → Sand-Rosterde → Sand-Fahlerde → Flachlehm-Fahlerde

b) Unterbodenproben

ZL 9/13 Sand-Gley → Flachlehm-Fahlerde → Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde
Z 6/10 Sand-Gley → Flachlehm-Fahlerde → Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde

Die statistisch insignifikanten Differenzen sind durch gemeinsame Unterstreichung von Namen gekennzeichnet worden. Wie die obige Übersicht zeigt, waren die bestimmenden Einflüsse des frischen bzw. luftgetrockneten Bodenmaterials sehr ähnlich, insbesondere bei den Unterbodenproben. Dazu muß noch bemerkt werden, daß beim Vergleich der Versuche mit Oberboden- und Unterbodenproben nicht nur die Reihenfolge nach dem Grad des Einflusses auf den Rotteschwund, sondern auch die Rottegeschwindigkeit sehr unterschiedlich war (bei Versuchen mit Unterbodenproben ist ein vergleichbarer Rotteschwund frühestens nach doppelter Versuchsdauer festzustellen gewesen). Schließlich muß noch erwähnt werden, daß die Versuche mit Proben des Tieflehm-Pseudogley (deren Ergebnisse hier der besseren Übersicht wegen im einzelnen nicht aufgeführt wurden) nicht sehr große Unterschiede zwischen Oberboden- und Unterbodeneinfluß, wohl aber zwischen dem Einfluß von Frischboden und luftgetrocknetem Boden zeigten. Eine kausalanalytische Deutung der Versuchsergebnisse wäre aber verfrüht. Es kann jedoch allgemein festgestellt werden, daß die Lebensprozesse vom anliegenden Substrat maßgeblich und gesetzmäßig beeinflußt werden.

3.1.2. *Versuch Z* **1/5**

Versuchsanlage: 2×5 Varianten (Oberboden- und Unterbodenproben, Proben aus 5 verschiedenen Bodenformen [s. Tabelle 2]), 8 Parallelversuche, also insgesamt 80 Einzelversuche. Alle Varianten wurden mit lufttrockenen Bodenproben angesetzt, in feuchtem Zustand fraktioniert sterilisiert und anschließend wurden die Zelluloseschildchen mit einer Suspension aus einer Rohkultur von *Sporozytophaga myxococcoides* beimpft. Kein Zusatz von Nährlösung, je 10 mg *Folsomia candida* zu Versuchsbeginn. Versuchsdauer einheitlich 75 Tage.

Befunde: Aus der Zusammenstellung der Versuchsergebnisse in Tabelle 5 geht hervor, daß unter gleichen biotischen und hydrothermalen Voraussetzungen sowie in gleicher

Tabelle 4 Analysenwerte zu den Profilen von 3 Zustandsstufen der Standortsform „Schönholzer Tieflehm-Sand-Braunpodsol — schwach kontinental beeinflußt“ [Bodentyp = Pc

Horizont**)	Probenentnahme in cm Tiefe	Korngrößenzusammensetzung in % des Feinbodens 2—1	1—0,6	0,6 bis 0,2	0,2 bis 0,1	0,1 bis 0,06	0,06 bis 0,02	0,02 bis 0,006	0,006 bis 0,002	< 0,002	Glühverlust %	N in % der org. Substanz	pH-Wert H_2O	KCl	Sorptionsverhältnisse S m val	H	S + H
H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26	2,3	4,3	3,3	8,4	34,0	42,4
H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	64	2,2	3,6	2,8	16,2	109,0	125,2
Ah	0—1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	3,8	4,7	4,4	15,0	22,0	37,0
I Ap	10—15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	4,6	?	0,6	4,3	4,9
I Ap	5—15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	4,2	4,1	0,5	4,3	4,8
I Ah	8—15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,8	—	4,4	3,8	2,4	10,4	12,8
I Bv	30—35	0,5	2,4	34,5	42,6	15,3	3,7	—	1,0	—	—	—	4,6	4,2	0,7	5,8	6,5
I Bv	25—40	1,1	3,5	29,6	37,5	18,6	6,4	1,0	1,8	0,5	—	—	4,2	3,8	0,9	6,0	6,9
I Bv	25—30	0,4	2,4	35,6	44,3	12,8	0,8	1,7	1,3	0,7	—	—	4,5	3,8	0,9	5,5	6,4
II Et	60—65	2,0	4,9	33,1	30,5	14,9	10,1	1,9	2,1	0,5	—	—	4,7	4,2	1,2	2,8	4,0
II Et	55—65	2,6	4,5	36,5	38,8	12,9	2,3	—	2,4	—	—	—	4,9	4,4	1,0	1,5	2,5
II Et	60—70	0,6	3,2	29,1	41,0	19,6	3,8	—	2,7	—	—	—	4,9	4,2	1,3	5,8	7,1
II Bt	80—85	1,0	2,7	19,6	20,8	13,3	13,4	10,3	6,0	12,9	—	—	4,9	3,6	14,0	6,7	20,7
II Bt	75—80	0,6	3,4	23,2	25,8	18,4	11,4	9,7	3,2	4,3	—	—	4,8	4,4	8,2	3,5	11,7
II Bt	80—90	0,6	1,7	16,9	24,6	15,9	15,1	8,3	3,3	13,6	—	—	4,6	3,9	8,9	7,6	16,5
II C	110—120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,7	7,2	—	2,0	—
II C	90—110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,7	7,4	—	1,5	—
II C	100—110	1,2	2,6	17,3	23,7	18,2	18,2	9,2	4,6	5,0	—	—	7,8	7,3	—	2,1	—

*) Tabelle nach D. Kopp (im Druck).

**) Anmerkung: 1. Probe in jedem Horizont: Stark degradiert mit feinhumusarmem Rohhumus. Hagergrastyp und Flechtenfazies. Kiefer geringwüchsig.
2. Probe in jedem Horizont: Mäßig degradiert mit typischem Rohhumus. Drahtschmielentyp. Kiefer II/III—III.
3. Probe in jedem Horizont: Annähernd natürlicher Zustand mit mullartigem Moder. Waldmeistertyp des Eichen-Buchenwaldes. Buche II.

Tabelle lsolige Braunerde aus Sanddecke über gekapptem (?) lessiviertem Geschiebelehm]*)

Horizont**)	V %	Gesamtgehalt % an CaCO$_3$	Ca	Mg	K	P	Anteil an Silikaten (%) 1—0,6	0,6 bis 0,2	0,2 bis 0,1	0,1 bis 0,06	Mittel 1—0,06
H	19,9	—	0,4	—	0,6	0,05	—	—	—	—	—
H	12,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ah	40,5	—	0,8	—	0,8	0,06	—	—	—	—	—
I Ap	12,3	—	0,3	—	0,8	0,02	—	—	—	—	—
I Ap	10,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I Ah	18,8	—	0,4	—	0,9	0,03	—	—	—	—	—
I Bv	10,8	—	0,4	0,2	1,0	0,02	20	9	11	17	11
I Bv	13,0	—	—	—	—	—	—	8	9	14	10
I Bv	14,1	—	0,4	0,3	1,0	0,02	—	7	13	18	11
II Et	30,0	—	0,4	0,3	1,3	0,02	29	10	11	13	12
II Et	40,0	—	—	—	—	—	21	11	12	15	12
II Et	18,4	—	0,4	0,2	1,1	0,02	18	14	10	17	13
II Bt	67,7	—	0,7	0,4	1,5	0,03	33	13	12	17	15
II Bt	70,1	—	—	—	—	—	—	15	12	16	14
II Bt	53,9	—	0,7	0,5	1,9	0,04	25	15	12	14	14
II C	—	8,4	—	—	2,0	0,04	32	15	14	17	16
II C	—	8,5	—	—	—	—	—	18	15	22	18
II C	—	1,0	—	—	1,9	0,04	—	—	—	—	—

Tabelle 5 Rotteschwund der Zellulose unter dem Einfluß von Bodenproben aus verschiedenen Bodenformen in der Gemarkung Lichterfelde (vgl. Tab. 2 und 3). Versuch Z 1/5

Mittelwerte ($\bar{x}$ abs.) in mg

Profil-Nr.:	253	15	97	182	9
Oberbodenproben	59,4	65,3	67,2	91,0	129,4
Unterbodenproben	14,2	37,0	33,0	75,2	45,0

Variabilitätskoeffizienten zu den obenstehenden Mittelwerten

Profil-Nr.:	253	15	97	182	9
Oberbodenproben	38,2	25,7	47,7	38,0	2,4
Unterbodenproben	64,0	13,8	49,4	20,6	20,7

Mittelwerte ($\bar{x}$ rel.) aus den Serien mit Unterbodenproben im Vergleich zu jenen mit Oberbodenproben (= 100)

Profil-Nr.:	253	15	97	182	9
Relative Mittelwerte	24	57	49	82	35

Zeit unter dem Einfluß verschiedener Substrate unterschiedliche Mengen von Zellulose geschwunden sind. Auch in diesem Versuch waren die Einflüsse von Oberboden- und Unterbodenproben deutlich verschieden. Am Beispiel der Versuche mit Sand-Gley (253) mag der große und am Beispiel der Versuche mit Tieflehm-Pseudogley (182; tiefgründiger Boden!) der geringe Unterschied zwischen dem Einfluß des Ober- und Unterbodenmaterials erklärlich erscheinen (vgl. Tabelle 3), auch eine gewisse Ähnlichkeit der Befunde dieses Versuches mit jenen des Versuches Z 6/10 (sterilisierte Bodenproben; — vgl. Abschn. 3.1.1.) mag als Hinweis auf Übereinstimmungen von Substrateinflüssen gelten, doch für eine Faktorenanalyse genügen die wenigen Befunde noch nicht. Die Variabilitätskoeffizienten erreichen, wie zumeist bei sterilisierten Proben, relativ hohe Werte; die Übersicht läßt jedoch keine bestimmte Regel erkennen.

3.1.3. *Versuch Z* 12/14

Versuchsanlage: 2×2×3 Varianten (Ober- und Unterbodenproben, unbehandelte und sterilisierte Materialien, Proben von 3 Bodenformen [s. Tabelle 2]), 8 Parallelversuche, also insgesamt 96 Einzelversuche. Bodenproben vor Versuchsbeginn lufttrocken; teilweise in feuchtem Zustand fraktioniert sterilisiert. Proben nicht beimpft, Nährlösung zugesetzt. Je 10 mg *Folsomia candida* zu Versuchsbeginn, Versuchsdauer bei allen Varianten 35 Tage.

Befunde: Aus Tabelle 6 geht hervor, daß die Abbaumittelwerte der sterilisierten Varianten höchstens die Hälfte des mittleren Rotteschwundes der unbehandelten Varianten erreichen. Die Abbaumittelwerte der sterilisierten Variante Nr. 15 sind außerdem nur wenig voneinander verschieden; durch die Vernichtung der autochthonen Mikroflora scheint hier eine gewisse Angleichung der verschiedenen Materialien bewirkt worden zu sein. Allerdings ist zu bemerken, daß die Variabilitätskoeffizienten zu den Mittelwerten der sterilisierten Varianten mit einer Ausnahme (97 u) wesentlich höher sind und daß schon deswegen vorhandene Unterschiede vielleicht keine Bedeutung erlangen.

Ein Vergleich der Varianten mit beimpftem lufttrockenem Boden dieses Versuches mit den entsprechenden beimpften Varianten des Versuches Z 6/10 ergibt folgendes Bild:

a) Oberbodenproben

Z 12/14 Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde → Tieflehm-Pseudogley
Z 6/10 Tieflehm-Pseudogley → Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde

b) Unterbodenproben

Z 12/14 Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde → Tieflehm-Pseudogley
Z 6/10 Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde → Tieflehm-Pseudogley

Tabelle 6 Rotteschwund unter dem Einfluß von sterilisierten und nichtsterilisierten Bodenproben aus der Gemarkung Lichterfelde (vgl. Tab. 2 und 3), Versuch Z 12/14

Mittelwerte ($\bar{x}$ abs.) in mg

Profil-Nr.		15	97	182
unbeh.	o.	107,1	138,6	135,2
	u.	89,6	105,0	129,1
steril.	o.	*37,3*	*43,4*	*68,6*
	u.	*38,0*	*27,7*	*50,8*

Profil-Nr.	15		97		182	
	o.	u.	o.	u.	o.	u.
unbeh.	107,1	89,6	138,6	105,0	135,2	129,1
steril.	*37,3*	*38,0*	*43,4*	*27,7*	*68,6*	*50,8*

Variabilitätskoeffizienten zu den obenstehenden Mittelwerten

	15		97		182	
	o.	u.	o.	u.	o.	u.
unbeh.	16,3	13,8	6,6	6,5	3,1	3,7
steril.	*41,0*	*71,0*	*55,0*	*3,4*	*58,0*	*17,9*

Mittelwerte ($\bar{x}$ rel.) aus den Probenserien mit Unterbodenproben im Verhältnis zu jenen mit Oberbodenproben (= 100)

Profil-Nr.:	15		97		182	
	unbeh.	steril.	unbeh.	steril.	unbeh.	steril.
Rel. Mittelw.	84	*100*	76	*64*	95	*74*

Mittelwerte ($\bar{x}$ rel.) aus den sterilisierten Probenserien im Verhältnis zu denen der unbehandelten (= 100)

Profil-Nr.:	15		97		182	
	o.	u.	o.	u.	o.	u.
	28	*42*	*32*	*39*	*50*	*39*

Abkürzungen: Serien mit Oberboden- (o.) und Unterbodenproben (u.).

Ob die Umkehrung der Reihenfolge der Oberbodenvarianten allein auf die Beimpfung mit der Rohkultur von *Sporozytophaga myxococcoides* zurückzuführen ist oder ob hier trotz der festgestellten signifikanten Differenzen auch der Zufall mitspielt, läßt sich anhand des wenigen Materials noch nicht sagen.

Ein entsprechender Vergleich der Varianten mit sterilisiertem Boden (beimpft, Z 1/5, und unbeimpft, Z 12/14) ergibt folgendes Bild:

a) Oberbodenproben

Z 12/14 Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde → Tieflehm-Pseudogley
Z 1/5 Sand-Fahlerde → Sand-Rosterde → Tieflehm-Pseudogley

b) Unterbodenproben

Z 12/14 Sand-Rosterde → Sand-Fahlerde → Tieflehm-Pseudogley
Z 1/5 Sand-Rosterde → Sand-Fahlerde → Tieflehm-Pseudogley

Die Übereinstimmung in der charakteristischen Reihenfolge ist so auffallend, daß selbst die geringen Unterschiede zwischen den Varianten von Bedeutung zu sein scheinen. Wenn dieser Reihenfolge tatsächlich eine strenge Gesetzmäßigkeit zugrunde liegen sollte, dann müßte sie dem unterschiedlichen Substrateinfluß zugeschrieben werden, der sich anscheinend (vgl. ZL 9/13, Z 6/10 und auch Z 12/14, unbehandelt, Unterboden) unter anderen mikrobiellen Bedingungen verschieden auswirken kann.

3.2. Versuche mit Materialien aus Waldbodenprofilen

3.2.1. *Versuche mit Bodenproben*

Versuchsanlage: 3×5 Varianten (Proben von 3 Profilen und aus 5 Schichten), 8 Parallelversuche, also insgesamt 120 Einzelversuche. Für die Versuche wurden luftgetrocknete, unbehandelte Materialien ohne Nährstoffzusatz verwendet. Die Proben **a** und **b** (vgl. Abb. 2) stammen aus den oberflächlichen nahen Schichten, aber aus genetisch verschiedenen Horizonten; die Proben **c**, **d** und **e** stammen aus den Horizonten *Ap* bzw. *Ah*, *Bv* und *Bt*. Es sind also nur Versuche mit Proben aus den analogen Horizonten unmittelbar für einen Profilvergleich geeignet.

Die Versuchsgefäße aller Varianten des Versuches waren mit je 10 mg *Folsomia candida* besetzt, die Versuchsdauer betrug 23 Tage. Die mathematische Auswertung erstreckte sich sowohl auf die Prüfung von Differenzen zwischen den Versuchsreihen mit gleichbenannten Proben aus verschiedenen Profilen (Tabelle 7), als auch auf die Prüfung von Differenzen zwischen den Versuchsreihen mit verschiedenen Proben aus dem gleichen Profil (Tabelle 8).

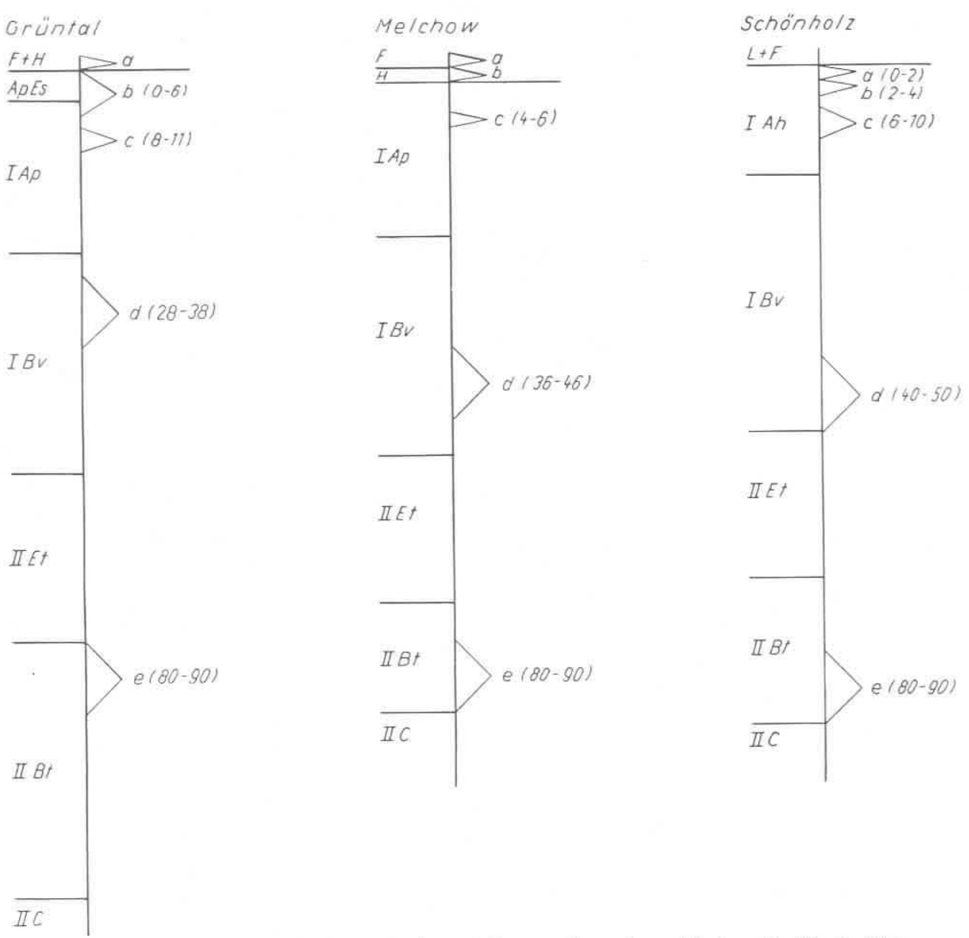


Abb. 2. Kennzeichnung der Probenentnahmestellen an den schematischen Profilschnitten.

Befunde: Wie Tabelle 7 zeigt, sind nur zwei Mittelwerte aus Versuchsreihen mit gleichen Proben insignifikant verschieden; die Materialien der drei Profile üben also auf die Intensität des Zelluloseabbaues einen charakteristisch unterschiedlichen Einfluß aus. Die Größenordnung des Rotteschwundes kann durch folgende Reihenfolge allgemein gekenn-

entweder in substanzieller oder in mikrobieller Hinsicht ärmer werden. Der folgende, mehr aus methodischen Erwägungen angelegte Versuch, gibt einen vorläufigen Überblick über die Einflüsse von Anreicherungskulturen aus verschiedenen Bodenproben, die wir auf ein steriles Substrat beimpft haben.

3.2.2. *Versuche mit Mikroben aus Anreicherungskulturen mit verschiedenen Waldbodenproben*

Versuchsanlage: 2×5 und 1×4 Varianten (Suspensionen aus Anreicherungskulturen mit verschiedenen Bodenproben auf steriles Substrat überimpft), 8 Parallelversuche, also insgesamt 132 Proben. Als Substrat wurde in allen Varianten Quarzsand mit Nährlösung verwendet (s. Abschn. 2.2.). Die Anreicherungskulturen sind in folgender Weise hergestellt worden: Kleine, sterile Erlenmeyerkolben (25 mg) wurden mit 6 mg geglühtem, sterilem Sand, 2 m*l* luftgetrocknetem Bodenmaterial und etwa 30 mg Zellulosepulver beschickt. Das mit Zellulosepulver bestreute Erdmaterial wurde von der unteniiegenden Sandschicht her reichlich befeuchtet. Nach

Tabelle 9 Rotteschwund (Mittelwerte in mg) unter dem Einfluß von Mikroben aus Bodenproben der verschiedenen Horizonte bzw. Schichten (a—e) dreier standortlich verschiedener Ausprägungen einer gleichen Waldbodenform (vgl. Abb. 2, Tabelle 4 und 7). Befunde der statistischen Prüfung der Differenzen zwischen den Abbau-Mittelwerten der ähnlichen Probenserien von verschiedenen Standorten.

	Grüntal	Melchow	Schönholz
	F + H	*F*	*I Ah*
a	148,5	—	129,4
	ApEs	*H*	*I Ah*
b	143,4	205,8	161,6
	I Ap	*I Ap*	*I Ah*
c	130,5	209,0	142,6
	II Bv	*II Bv*	*II Bv*
d	125,5	298,0	163,9
	II Bt	*II Bt*	*II Bt*
e	116,3	200,5	196,5

Anm.: Horizontsymbole über den Mittelwerten. — Insignifikant differente Mittelwerte gemeinsam unterstrichen.

Tabelle 10 Rotteschwund (Mittelwerte in mg) unter dem Einfluß von Mikroben aus Bodenproben der verschiedenen Horizonte bzw. Schichten (a—e) dreier standortlich verschiedener Ausprägungen einer gleichen Waldbodenform (vgl. Abb. 2, Tabelle 4 und 8). Ergebnis der statistischen Prüfung zwischen den Abbau-Mittelwerten aus den Befunden verschiedener Probenserien von gleichen Standorten

	a	b	c	d	e
Grüntal	148,5	143,4	130,5	125,5	116,3
Melchow	—	205,8	209,0	298,0	200,5
Schönholz	129,4	161,6	142,6	163,9	196,5

Variabilitätskoeffizienten zu den obenstehenden Mittelwerten

	a	b	c	d	e
Grüntal	13,7	18,8	14,8	19,8	27,8
Melchow	—	6,4	7,6	24,1	19,4
Schönholz	35,7	5,0	19,5	19,5	15,3

einer Bebrütungszeit von 7 Tagen (bei etwa 19 °C) wurden die Kölbchen mit je 8 *ml* sterilem Leitungswasser beschickt und auf der Schüttelmaschine geschüttelt. Die so gewonnenen Suspensionen wurden direkt für die Beimpfung der sterilen Zelluloseschildchen in den Versuchsgefäßen verwendet. Dabei wurde Impfsuspension mit Hilfe einer spiraliggewundenen Jmpföse aufgetragen.

Die Tiere (je 10 mg *Folsomia candida*) sind erst eine Woche nach der Beimpfung der Zelluloseschildchen in die Versuchsgefäße gesetzt worden. Der Versuch dauerte somit 7 + 35 = 42 Tage.

Befunde: In den Tabellen 9 und 10 sind die Daten für die Versuche mit Suspension in entsprechender Weise zusammengestellt worden, wie die Daten für die Versuchsreihen mit Bodenproben in den Tabellen 7 und 8. Der Standortsvergleich zeigt auch hier nur zwei insignifikante Differenzen; die Standortsunterschiede kommen also auch in diesen Versuchsreihen zum Ausdruck. Die Reihenfolge nach der Größe des Rotteschwundes ist hier jedoch eine andere (Grüntal → Schönholz → Melchow). Für diese Verhältnisse kann hier keine Erklärung gegeben werden. Auch bei den Versuchen mit Suspensionen kann nicht festgestellt werden, daß Proben aus tieferen Schichten einen verminderten Rotteschwund bewirkten (s. Tabelle 10). Auffällig sind schließlich die geringen Unterschiede zwischen den Mittelwerten der jeweils zu einem Profil gehörigen Varianten.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Durch Beispiele von Befunden aus vergleichenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß die Intensität der Rotte von Zellulose durch substanzielle oder mikrobielle Bedingungen gesetzmäßig beeinflußt wird. Deshalb war der zeitliche Rotteverlauf trotz eines ausgeglichenen hydrothermalen Regimes sehr unterschiedlich. Um den Rotteschwund als ein zeitabhängiges Phänomen vergleichend werten zu können, wäre es daher notwendig, die beobachteten Vorgänge als Modifikationen theoretisch gleichförmig verlaufender Prozesse zu beschreiben. Die Intensität der Rotte (Rotteintensität = Rotteschwund/Zeit) ist nur ein summarisches Resultat verschiedener Lebensvorgänge, deren wechselseitige Bedingungen mit Hilfe der hier beschriebenen Methode untersucht werden können. Die Versuchsbedingungen müssen jedoch noch weitgehend präzisiert und die naturgesetzlichen Grundlagen des Verfahrens umfassend untersucht werden.

4. Summary and closing remarks

With the aid of examples from comparative data, it is demonstrated that the rate of decomposition of cellulose is influenced by the prevailing chemical and microbial conditions. Therefore the progress of decomposition was very different despite the maintenance of constant temperature and humidity. Consequently, in order to be able to evaluate the losses due to decomposition as a time-dependent phenomenon it would be necessary to interpret the above data as modifications of theoretical steady state progresses. The decomposition rate (decomposition rate = losses by decomposition/time) is an integrated result of various living processes, whose various conditions can be investigated with the help of the methods described here. The conditions of study must, however, be arranged more precisely and the natural bases of their operation should be investigated further.

5. Literatur

Anonym, 1963. Erläuterungsband zur Bodenkartierung in Lichterfelde, Kreis Eberswalde. Institut für Bodenkunde Eberswalde der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Abteilung Bodenkartierung. Unveröffentlichter Bericht.

Berger-Landefeldt, U., 1960. Zum Zellulose-Abbau in Böden unter verschiedenem Bewuchs. Oikos, **11**, 2, 311—324 (s. dort weitere Literatur).

Bortels, H., 1956. Die Bedeutung einiger Spurenelemente für Cellvibrio- und Cytophaga-Arten. Arch. Mikrobiol., **25**, 226—245.

Ehwald, E., Kundler, P., und E. Huebner [Hübener], 1956. Erfahrungen mit der Reißtestmethode von F. Richard zur Bestimmung der biologischen Bodenaktivität. Sixième Congrès de la Science du Sol, Paris 1956, III/7, 39—44.

Hübener, E., 1953. Über die Anwendbarkeit der Reißtestmethode zur Bestimmung der biologischen Bodenaktivität unter den Verhältnissen des Diluviums um Eberswalde. Unveröffentl. Diplomarbeit aus dem Institut für forstliche Bodenkunde und Standortslehre der Humboldt-Universität Berlin.

Kopp, D., 1962. Methode und Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung im nordostdeutschen Tiefland. Vortrag vor der Arbeitsgruppe „Waldtypologie" der Int. Ver. forstl. Forschungsanstalten (JUFRO). Warschau, September 1962 (im Druck).

KOZOVÁ, J., 1963. Mikrobiologische Zellulosezersetzung unter natürlichen Bodenverhältnissen. Zbl. Bakt. Abt. II, **116**, 5, 459—468 (s. dort weitere Literatur).
RICHARD, F., 1945. Der biologische Abbau von Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen, **24**, 1, 297—397.
SENING, E., 1963. Über den Einfluß von wässerigen Herbstlaubauszügen auf Wachstum und Tätigkeit cellulosezersetzender Mikroorganismen. Zbl. Bakt. Abt. II, **117**, 1, 13—40 (s. dort weitere Literatur).
TÖRNE, E. VON, 1965. Hilfsmittel zum Fang und zur Zählung von kleinen Bodentieren. Pedobiologia, **4**, 4, 265—268.
UNGER, H., 1960. Der Zellulosetest, eine Methode zur Ermittlung der zellulolytischen Aktivität des Bodens in Feldversuchen. Zschr. Pflanzenern. Düngung, Bodenkunde, **91**, (136) 1, 44—52 (s. dort weitere Literatur).
UNGER, H., 1963. Ermöglicht der Zellulosetest neben der Erfassung quantitativer Unterschiede auch gleichzeitig qualitative Aussagen? Zbl. Bakt. Abt. II, **116**, 5, 457—458.

Anschrift des Verfassers: Dr. E. v. TÖRNE, Institut für Bodenkunde, Arbeitsgruppe Bodenzoologie, 13 Eberswalde, Rudolf-Breitscheid-Straße 67 (Blockhaus).
